

УДК 621.165

А.С. МАЗУРЕНКО, д-р. техн. наук, Г.А. БАЛАСАНЯН, канд. техн. наук,
Е.А. СЫЧОВА

Одесский национальный политехнический университет

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКОЙ

Розглянута можливість вирішення проблеми невідповідності співвідношення виробництва теплоти та електроенергії автономною когенераційною газотурбінною установкою потребам споживача. Пропонується регулювання такого співвідношення за рахунок зміни параметрів газу перед турбіною. Виконано аналіз такого способу регулювання виробництва теплоти на ефективність всієї когенераційної установки.

Одним из главных условий работы с максимально возможной тепловой эффективностью автономных когенерационных газотурбинных установок (ГТУ) является возможность полной утилизации тепла газов после турбины. Однако это возможно лишь при точном совпадении отпуска теплоты и электроэнергии с графикам соответствующих нагрузок потребителя. Как показывает анализ [1], для потребителей, использующих когенерационные установки на базе ГТУ (промышленные предприятия, жилые микрорайоны и др.) характерно несоответствие суточных графиков тепловой и электрической нагрузок. При этом соотношение потребляемой тепловой мощности к электрической Q/N в разные периоды суток изменяется в широких пределах: от 1 до 3 (рис. 1). Утилизированное тепло установки, работающей по электрическому графику нагрузок, при фиксированных параметрах газа перед турбиной (в данном примере: $t = 1200^\circ\text{C}$ и $p = 12$ бар) однозначно зависит от электрической мощности ГТУ и не совпадает с графиком тепловой нагрузки объекта (рис. 1).

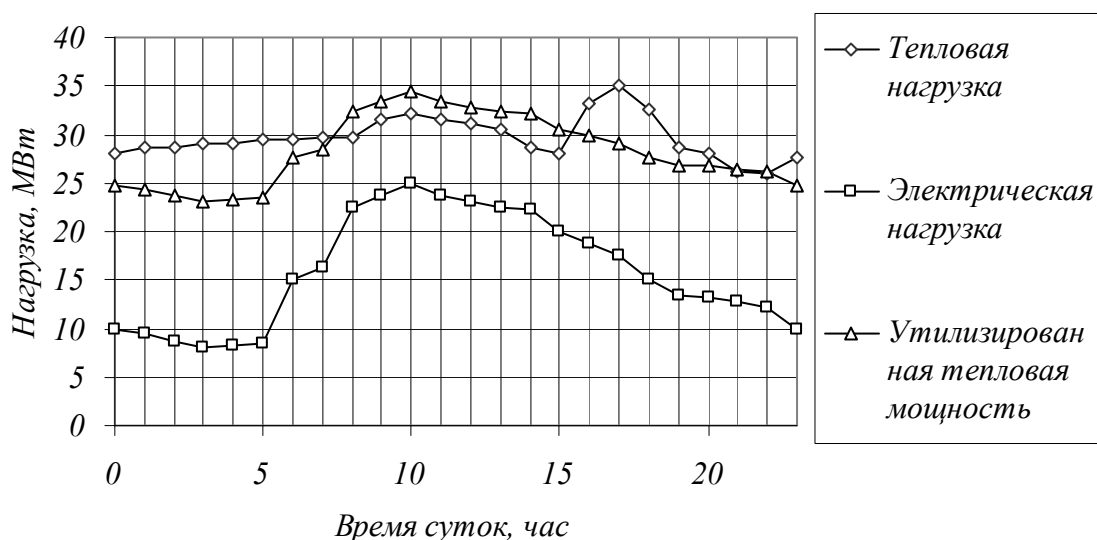


Рис. 1. Суточные графики электрической и тепловой нагрузок промышленного предприятия (январь)

Известны классические способы решения данной проблемы: например для паротурбинных когенерационных установок (ПТУ) согласование графиков нагрузок осуществляется за счет применения одного и более регулируемых отборов пара [2]. Диаграммы режимов для ПТУ с регулируемыми отборами позволяют определить расходы пара на части высокого (ЧСД) и низкого давления (ЧНД) турбины, а также для регулируемых отборов при заданной электрической и тепловой мощности установки. Однако для ГТУ, в связи с использованием принципиально другого рабочего тела, такой способ не применим.

Для регулирования электрической мощности ПСУ широко применяется также способ “скользящих параметров”, в основу которого положено изменение рабочих параметров пара (давления и температуры) перед турбиной, что обеспечивает соответствующее увеличение или снижение мощности вследствие изменения термодинамической эффективности цикла [3].

В данной работе для регулирования соотношения электрической и утилизированной тепловой мощности когенерационной установки на базе ГТУ предлагается использовать изменение рабочих параметров газа (p, t) перед турбиной по аналогии со “скользящими параметрами”. Так как эффективность когенерационных установок принято оценивать по коэффициенту использования топлива (КИТ), то возможное снижение абсолютного электрического к.п.д. (η_e) ГТУ компенсируется соответствующим увеличением доли утилизованного тепла и незначительно влияет на этот показатель (КИТ).

Оценка эффективности предложенного способа выполнена на основе математической моделирования ГТУ с котлом-утилизатором при возможности изменения различных параметров системы и внешних условий. Модель реализована на алгоритмическом языке Visual Basic с использованием технологий объектно-ориентированного программирования, обеспечивающих наглядность и компактность представления результатов (рис. 2).

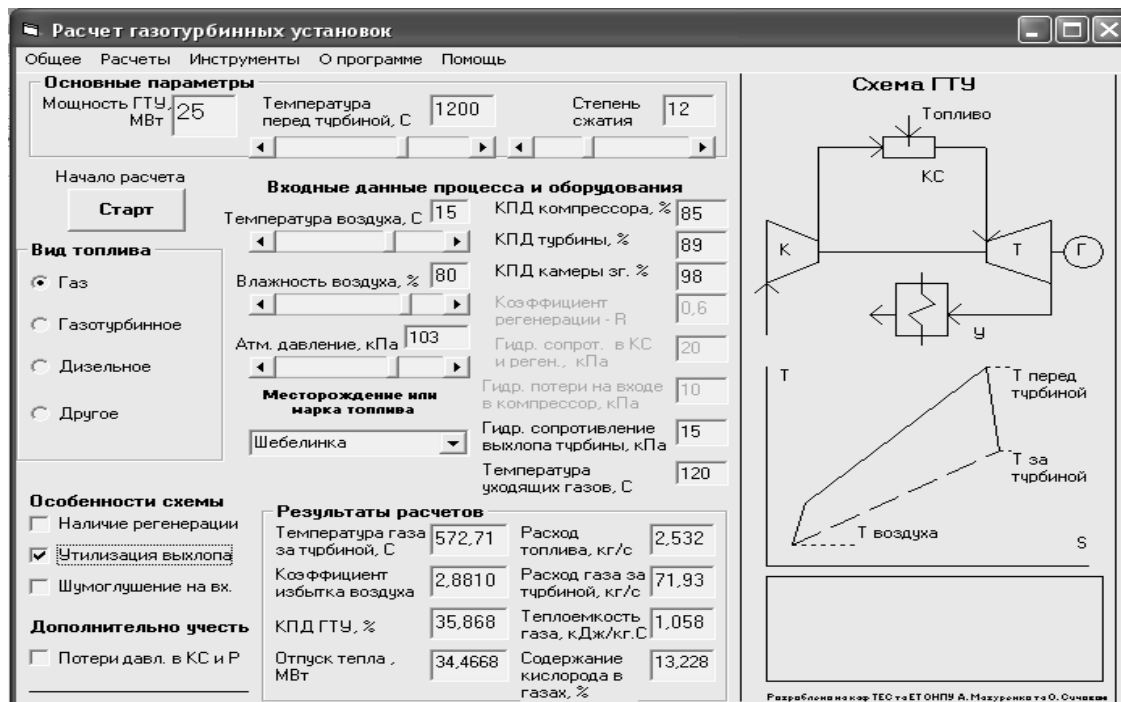


Рис. 2. Модель расчета когенерационной системы на базе ГТУ

Результаты расчетов влияния температуры t и давления p газа перед турбинной на соотношение Q/N представлены на рис. 3.

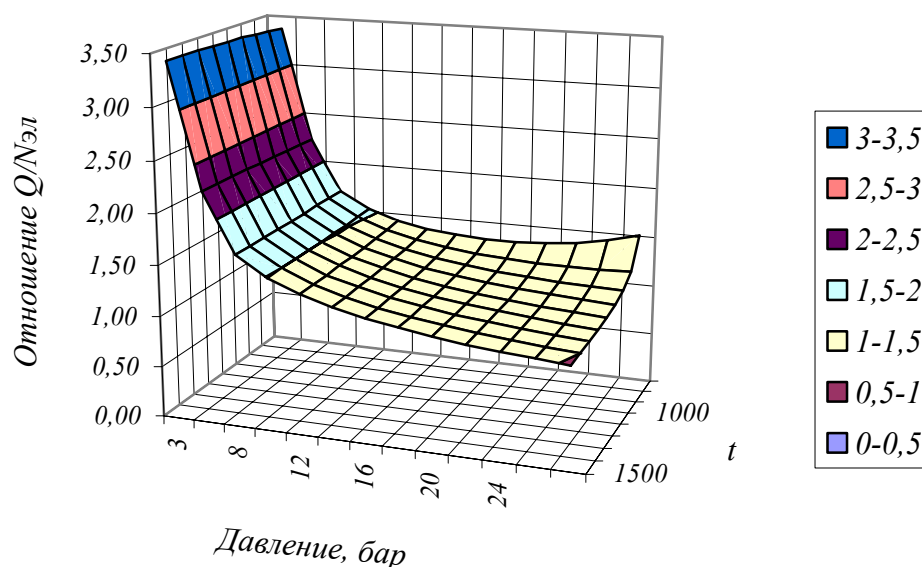


Рис. 3. Отношение отпущенного тепла к электрической мощности ГТУ в зависимости от начальных параметров газа перед турбиной

По представленным результатам расчетов можно определить, что отношение Q/N изменяется в широких пределах — от 1 до 3.5 при соответствующем изменении t от 700 до 1500 °С и p от 3 до 24 бар. Такой диапазон отношений Q/N соответствует потребляемой тепловой и электрической мощности для рассматриваемого в данном примере промышленного объекта (рис. 1) и позволяет решить задачу согласования графиков тепловой и электрических нагрузок предложенным способом.

Регулирование Q/N изменением t ограничено технологически допустимыми температурами газа от 700 до 1500 °С и осуществляется изменением коэффициента избытка воздуха в камере сгорания. При этом диапазон изменения Q/N лежит в пределах от 1 до 1.5. Регулирование изменением p может осуществляться за счет скорости вращения компрессора, при соответствующей конструкции ГТУ и позволяет менять соотношение Q/N в более широких пределах: от 1 до 3.5.

Изменение начальных параметров газа оказывает существенное влияние на абсолютный электрический к.п.д. ГТУ (рис. 4.), диапазон изменения которого лежит в пределах от 5 до 45 %, поэтому задачу определения параметров газа, обеспечивающих заданное соотношение Q/N , необходимо решать совместно с задачей обеспечения максимальной экономичности установки (максимального значения η_s).

Поскольку аналитическое описание поверхностей, представленных на рис. 3 и 4 в явном виде отсутствует, то решение следует искать на основе численных методов, позволяющих интерполировать матрицы, описывающие указанные поверхности, и получить интерполяционные полиномы Ньютона на основе распределенных разностей [4]. Сплайн-интерполяция поверхностей выполнена в математическом редакторе Mathcad, который позволяет также решить и задачу оптимизации параметров ГТУ.

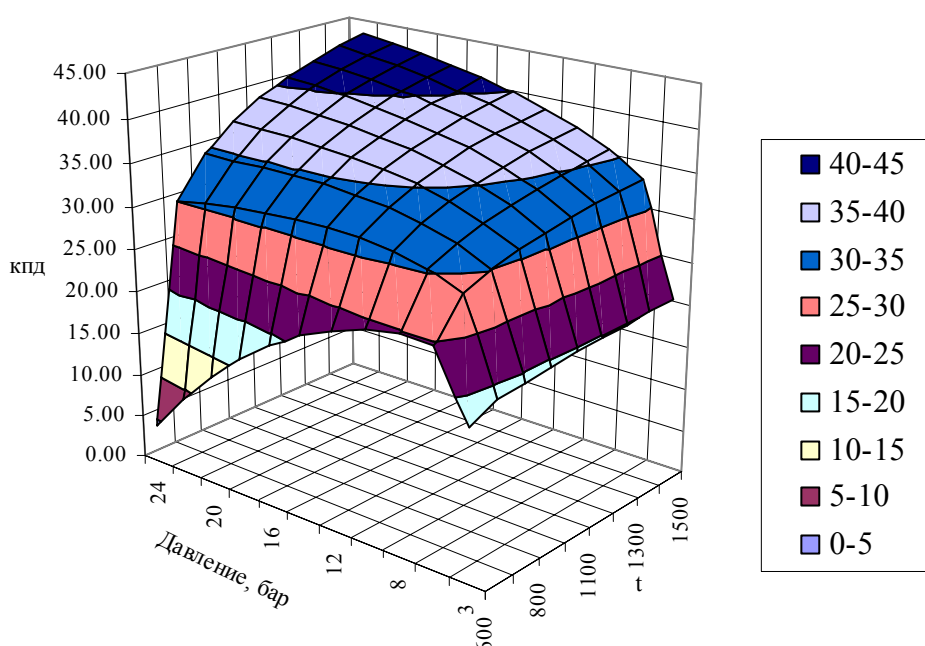


Рис. 4. Зависимость абсолютного электрического к.п.д. ГТУ от начальных параметров газа.

С математической точки зрения задача оптимизации представляет собой задачу поиска условного экстремума функции двух переменных (t, p) и в общем виде может быть записана:

$$\begin{cases} F_1(t, p) \rightarrow \max \\ F_2(t, p) = k \\ 700 \leq t \leq 1500 \\ 3 \leq p \leq 24 \\ 0 < k = \text{const} \end{cases} \quad (1)$$

где $F_1(t, p)$ – интерполяционный полином, описывающий поверхность на рис.4;
 $F_2(t, p)$ – интерполяционный полином, описывающий поверхность на рис.3;
 k – заданное значение отношения Q/N ;
 t, p – оптимизируемые параметры.

Представленная система включает целевую функцию, ограничение и граничные условия, а результатом ее решения являются значения $t_{\text{опт}}$ и $p_{\text{опт}}$, обеспечивающие максимальное значение абсолютного электрического к.п.д. $\eta_{\text{эmax}}$ при заданном отношении Q/N .

На рис. 5 представлена зависимость значений абсолютного электрического к.п.д., полученных в результате решения задачи оптимизации (1), для диапазона значений Q/N от 1.1 до 2.3. Максимальная эффективность когенерационной ГТУ

наблюдается в пределах отношения Q/N от 1.1 до 1.7, дальнейшее увеличение этого отношения не приводит к существенному снижению $\eta_{\text{э max}}$.

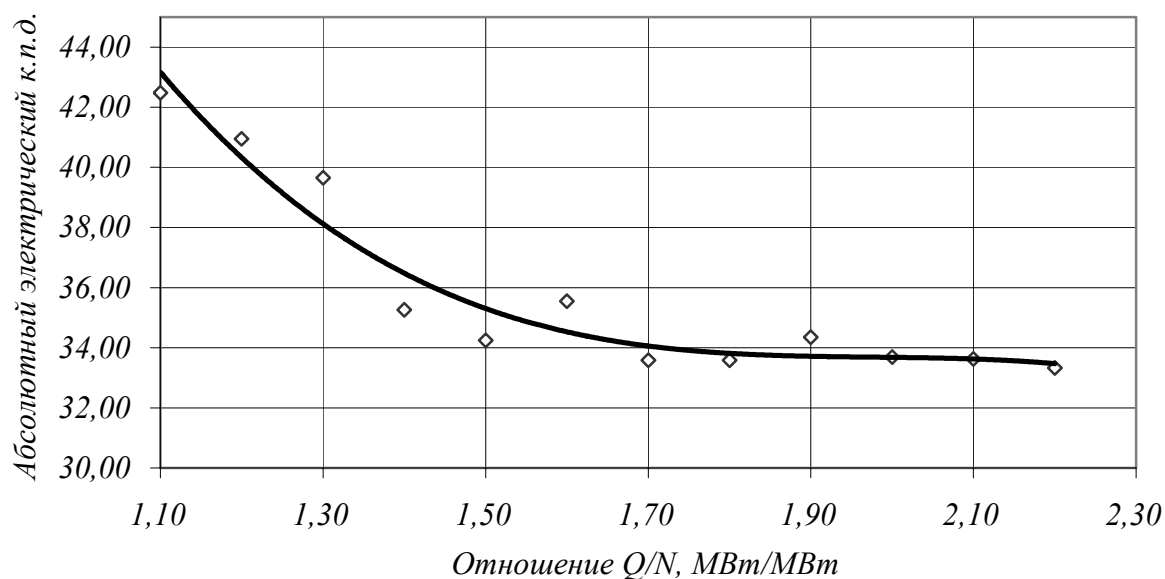


Рис. 5. Зависимость оптимальных значений абсолютного электрического к.п.д. от соотношения Q/N

Выводы

1. Рассмотрена проблема согласования графиков электрической и тепловой нагрузок когенерационной ГТУ с соответствующими нагрузками потребителя.
2. Предложено регулировать отношение утилизированного тепла к электрической мощности ГТУ изменением параметров газа перед турбиной.
3. Выполнена оценка эффективности предложенного способа регулирования.
4. Сформулирована и решена задача оптимизации параметров, обеспечивающих максимальную эффективность ГТУ.

Литература

1. Баласанян Г.А., Мазуренко А.С. Согласование графиков тепловой и электрической нагрузок для систем когенерации малой мощности // Пром. Теплотехника. — 2004. — № 6. — С. 71 — 76.
2. Трухний А.Д., Лосев С.М. Стационарные паровые турбины. — М.: Энергоиздат, 1981. — 454 с.
3. Смоленский А.Н. Паровые и газовые турбины. М.: Машиностроение, 1977. — 288 с.
4. Новіков Л. Щ., Обшта А. Ф. Чисельні та наближені методи прикладної математики. Лекції. — Львів: Львівська політехніка, 1998.

© Мазуренко А.С., Баласанян Г.А., Сычова Е.А., 2005